

# 콘크리트 포장 줄눈재의 마찰력 시험기 개발에 관한 연구

## A Study in Development of Friction Tester for Joint Sealant in Concrete Pavement

이올렉\* · 윤태영\*\* · 오재훈\*\*\* · 조운호\*\*\*\*

Lee, Oleg · Yun, Taeyoung · Oh, Jae-Hoon · Cho, Yoon-Ho

### 1. 서 론

콘크리트 포장의 주요 파손 형태인 스폐링(spalling), 단차(faulting)는 주로 줄눈재의 침하, 용기, 회전 등으로 인한 우수 또는 골재의 유입에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있다. 이렇게 줄눈재의 성능이 콘크리트 포장의 공용성에 큰 영향을 미치는 반면, 이를 정량화하기 위한 연구는 국내외로 활발히 이루어져있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 계절적 또는 재료적 특성에 의하여 변화하는 슬래브의 줄눈 움직임에 따른 줄눈재의 적정 폭 및 형상을 정량화 하고자, 다양한 줄눈재와 슬래브 사이의 마찰력을 측정할 수 있는 줄눈재 마찰력 시험 장비를 개발하였다. 이 마찰력 실험 장비에서는 다양한 줄눈재의 처짐 및 용기에 대한 거동을 모사하기 위하여, 줄눈재를 수직방향으로 밀어내리거나 당겨 올리는 힘을 응력제어와 변형률제어 조건에서 적용할 수 있도록 하였으며, 줄눈폭에 따른 줄눈재의 거동을 모사하기 위하여 슬래브 사이의 간격을 조절할 수 있도록 설계하였다. 본 논문에서는 개발된 장비의 특성과 이를 이용하여 수행한 성형 줄눈재(Preformed sealant)의 침하, 용기 실험의 결과를 나타내었으며, 차후 기후와 재료의 특성을 고려한 최적 줄눈재의 폭, 크기 및 형상 등을 선정하는 연구에 활용될 예정이다.

### 2. 성형 줄눈재와 줄눈에서의 마찰력 발생 메커니즘

#### 2.1 성형 줄눈재의 특성

콘크리트 포장의 줄눈에 사용되는 줄눈재로는 폴리우레탄 계열, 고무 아스팔트 계열 등의 줄눈재가 있으나, 최근 국내에서는 성형 줄눈재의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 성형 줄눈재는 대부분 네오프렌(Neoprene)과 EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer)이 혼합된 합성고무로서 필요한 용도에 따라 가공된다. 그림 1은 국내외에서 상용되고 있는 다양한 단면 형태의 성형 줄눈재를 나타내고 있다.

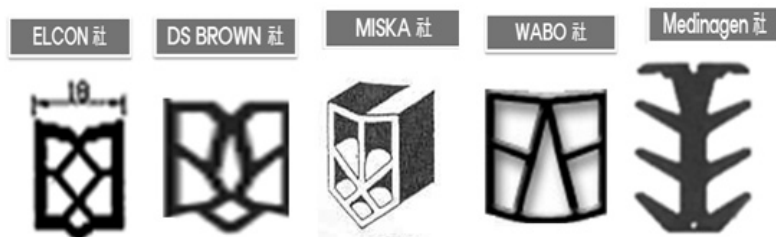


그림 1. 성형 줄눈재의 단면

\* 준회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : leeom85@hotmail.com)  
\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 Postdoctor · 공학박사(E-mail : taeyoungyun08@gmail.com)  
\*\*\* 정회원 · (주)시그마하이텍 대표이사(E-mail : eunkang2000@korea.com)  
\*\*\*\* 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 교수 · 공학박사(E-mail : yhcho@cau.ac.kr)

성형 줄눈재가 콘크리트 슬래브 단부의 파손을 방지하는 역할을 적절히 수행하기 위해서는 성형줄눈재의 탄성 및 환경에 대한 저항성이 적절히 조절되어야 하는데, 이는 줄눈재가 슬래브의 반복적인 압축 및 팽창에 대해서 용기되거나 침하되지 않으며, 환경하중으로 받을 수 있는 파손을 최소화하기 위해서이다. 성형 줄눈재는 비교적 넓은 온도범위와 환경하중에 대하여 효과적으로 적용이 가능한 줄눈재라고 인식되어왔는데, 이는 재료의 수명이 상대적으로 길고, 재료의 마모에 대한 저항성이 기타의 줄눈재에 비하여 좋기 때문인 것으로 알려져있다. 그러나 성형 줄눈재의 사용에 있어서 발생할 수 있는 주요 문제는 줄눈 내부에서 성형 줄눈재의 위치가 시공당시의 위치로부터 변화하는 것으로서, 그 형태로는 침하 파손, 용기, 밀림, 구부러짐 등이 있다. 이러한 문제점은 국내 줄눈재 현장조사(콘크리트 포장 줄눈재 보수 체계 개선용역, 2007)에서 다수 발견되었는데, 이는 주로 성형 줄눈재가 온도 변화에 따른 슬래브의 팽창 및 수축에서 발생하는 힘을 탄성적인 범위 내에서 수용하지 못하기 때문에 발생하는 것으로서, 줄눈폭이 적절하지 못한 경우이거나, 슬래브의 수축 및 팽창에 비하여 줄눈재의 폭이 너무 작거나 큰 경우 또는 시공불량인 경우가 대부분이다. 이때, 줄눈폭이 적절한지 또는 줄눈재가 적절하게 사용되었는지는 성형 줄눈재와 슬래브 사이의 마찰력 또는 마찰계수를 측정하여 간접적으로 정량화 할 수 있다.

## 2.2 줄눈에서의 마찰력 발생 메커니즘

아래 그림 2는 (a)블록이 평지위에 놓여있을 때와 (b)성형줄눈재가 슬래브사이에 존재할 때 발생하는 마찰력을 묘사하고 있다. 그림 2에서 화살표는 하중의 방향과 크기를 나타내고 있으며,  $W$  는 블록의 자중,  $N$  은 수직항력,  $F$  는 외력,  $F_f$  는 마찰력을 의미한다. 그림 2 (a)에서 마찰력  $F_f$  는 마찰계수  $\mu$  와 수직항력  $N$  을 곱한 것과 같으며, 외력  $F$  의 크기가 마찰력  $F_f$  보다 크면 블록은 외력의 방향으로 움직이게 된다. 이러한 메커니즘은 성형줄눈재의 거동을 설명하기 위해서도 사용될 수 있는데, 그림 2 (b)는 슬래브에서 줄눈재 방향으로 발생하는 압축력에 의하여 마찰력이 발생하는 것을 나타내고 있다. 외력 또는 자중의 합인  $F$  가 마찰력  $F_f$  보다 크게 될 때 줄눈재가 솟아오르거나 침하하게 된다. 이때  $W$ 와  $N$ 은 서로 같은 값을 갖으며, 마찰력은 평지위의 블록과는 달리 줄눈재의 양면에 작용하므로 그 크기가 두 배가 된다.

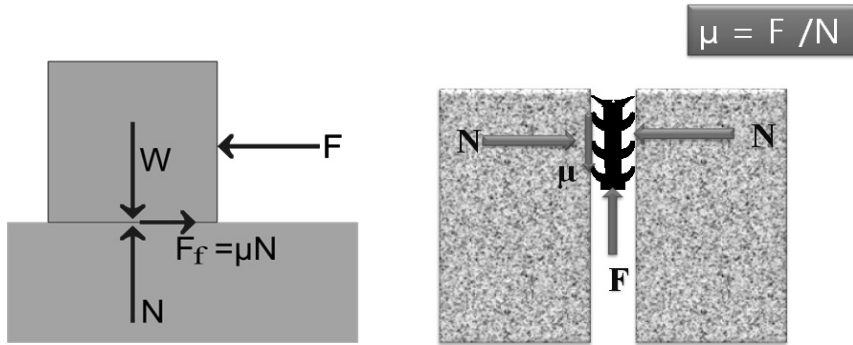


그림 2. 줄눈재에서 발생하는 마찰력의 메커니즘

## 3. 실험장비 및 실험방법

### 3.1 실험장비의 특성

그림 2에서 나타난 바와 같이, 가해지는 힘  $F$  와  $W$  또는  $N$ 을 슬래브의 반대쪽에서 측정하여 마찰계수 또는 마찰력을 결정할 수 있다. 따라서 슬래브가 횡방향 응력에 의하여 자유롭게 이동할 수 있도록 로울러를 슬래브 거치대에 설치하였으며, 수직방향과 수평방향 응력을 측정할 수 있는 로드셀을 설치하였다. 또한 실험을 응력 또는 변위제어 두 가지로 진행할 수 있도록 제작하였는데, 수직방향과 수평방향 로드셀의 하중범위는 0~200kg로 동일하며, 제어가 가능한 변위 범위는 각각 0~79.7mm, 0~405.8mm 이다. 그림 3은 장비의

전체적인 형태에 대한 도면을 나타내고 있는데, 나타난 바와 같이 시험 장치는 하부와 상부로 나누어져 있으며, 상부는 하중을 재하하는 로드셀과 하중봉에 연결된 하중판으로 구성되어 있다. 또한 하부는 콘크리트 슬래브를 장착하는 역할을 하며, 한쪽 슬래브는 고정시키고, 다른 한쪽의 슬래브는 장비와의 마찰력을 최소화한 롤러를 사용하여 횡방향으로 움직일 수 있도록 제작하였다. 다음의 그림 4는 시험 장치의 로드셀이 하중판이 연결된 장비 상부를 나타내고 있다. 그림 3에서 슬래브 거치대의 크기는 40cm × 39.5cm × 8cm이며 장비를 구성하는 요소들로서는 ① 메인 강관(기초), ③ 가로방향 로드 셀, ④ 슬라이딩 테이블, ⑤ 수직방향 프레임, ⑥ 수직방향 구동모터 ⑦ 수직방향 로드 셀, ⑧ 타이밍 풀리, ⑨ Push-off test 시편 거치 장치, ⑩ 수직방향 변위 센서, ⑪ 장비 거치 장치, ⑭ 가로방향 기어모터 및 로드셀 보호 덮개를 나타낸다.

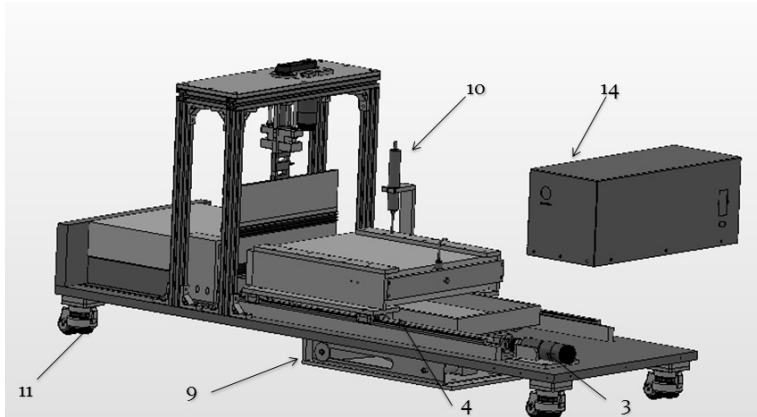


그림 3. 시험장비 및 구성요소

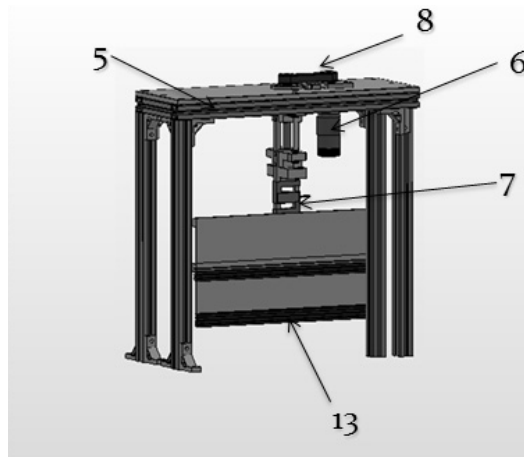


그림 4. 시험장비의 상부 및 구성요소

### 3.2 시험 절차 및 방법

먼저 실험에 사용될 콘크리트 슬래브를 타설하여 양생을 끝낸 후, 절삭하여 실제 현장에서 절삭하여 줄눈재를 삽입하는 면과 동일하게 매끄럽게 처리한다. 제작한 두 개의 슬래브를 장치의 하부에 수평이 되도록 장착하되, 한쪽은 움직임이 없도록 고정시키고, 다른 한쪽은 수평방향으로 움직임이 가능한 거치대에 거치한다. 슬래브의 설치가 완료되면, 원하는 줄눈폭에 따라 거치대의 위치를 정밀하게 조정한 후, 수평방향을 변위 제어 모드로 변경하여 더 이상의 변위가 발생하지 않도록 한다. 이 후 콘크리트 슬래브의 폭(40cm)과 동일한

길이의 줄눈재의 샘플이 준비하여, 그림 5와 같이 줄눈재를 슬래브 사이에 설치한다. 그 다음 하중이 작용판을 일정한 속력으로 하향 또는 상향으로 이동시키면서, 수직방향과 수평방향으로 발생하는 하중 및 변위를 측정한다. 그림 5는 하향실험을 위하여 하중판을 줄눈재에 접하게 만든 상태를 나타내고 있다.

예비실험에서는 폭 8mm의 F8-0이 사용되었으며, 줄눈폭과 수직 구동 모터의 속도를 독립 변수로 실험을 수행하였다. 줄눈폭은  $7.5 \sim 10.5 \pm 0.5 \text{mm}$ 으로 변화시켰으며, 수직방향 구동 모터의 속도는 20mm/min, 50mm/min 두 가지를 사용하였다.

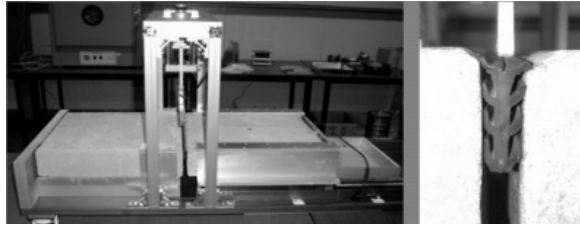


그림 5. 성형 줄눈재에 하중을 재하고 있는 모습

#### 4. 시험 결과

다음 그림 6과 그림 7은 각각 F-8(8mm)을 50mm/min와 20mm/min의 일정한 속도로 침하시키는 예비실험을 수행한 결과를 나타내고 있다. 그림 6에서 나타난 바와 같이, 시험 결과에서 초기에 수직 하중이 줄눈재에 재하될 때, 줄눈재가 움직이기까지 일정 시간이 필요하고, 대부분 초기에 하중이 짧은 시간 안에 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 줄눈폭이 넓은 경우 줄눈폭이 좁은 것보다 적은 마찰력을 가지게 되어, 줄눈폭이 시험 결과의 지배적인 영향을 미치게 되는 것도 확인되었다. 초기에 줄눈재의 움직임이 발생한 후의 수직하중은 일정하게 유지되는 것도 확인되었다.

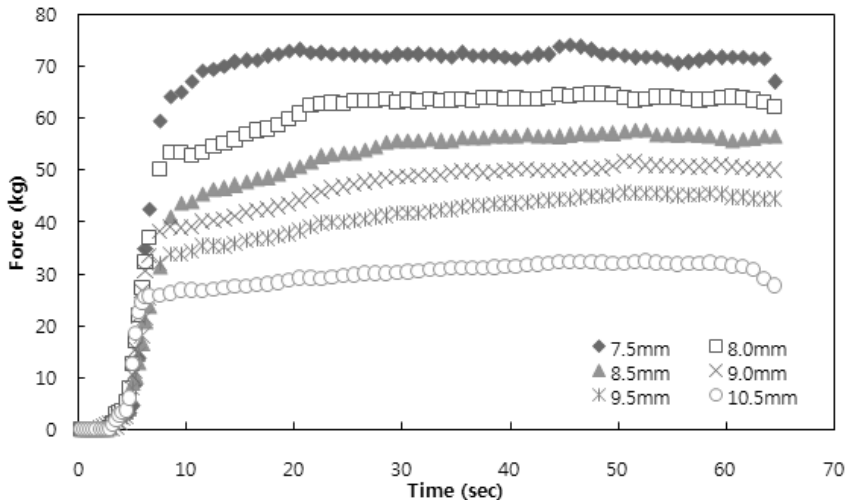


그림 6. 50mm/min의 속도로 시험한 결과

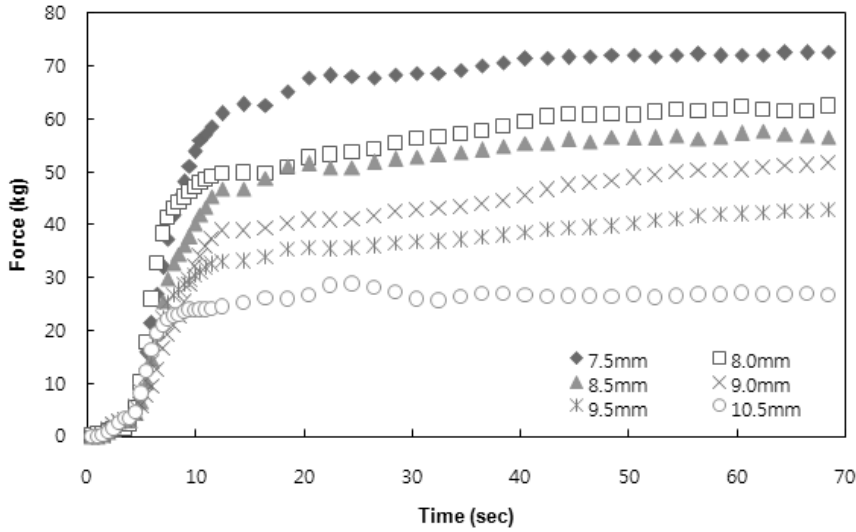


그림 7. 20mm/min의 속도로 시험한 결과

줄눈재가 점탄성 거동을 나타내는 경우, 마찰력을 결정하는 방법은 탄성 거동을 나타낼 때 보다 복잡해질 수 있다. 이는 하중속력을 변화시켜 필요한 하중의 변화를 확인하여 간접적으로 판단할 수 있는데, 그림 7과 같이 재료의 점탄성 거동 또는 하중재하 속력은 마찰력에 비하여 큰 영향을 미치는 요인이 아닌 것으로 확인되었다. 그림 8은 각각 실험 결과의 평균을 나타낸 결과, 측정된 값과 평균치는 편차가 적음을 알 수 있다. 표준오차의 평균 또한 0.7276kg(측정최대하중 70kg일 때, 1.03%의 오차)으로 오차가 적음을 나타내고 있다.

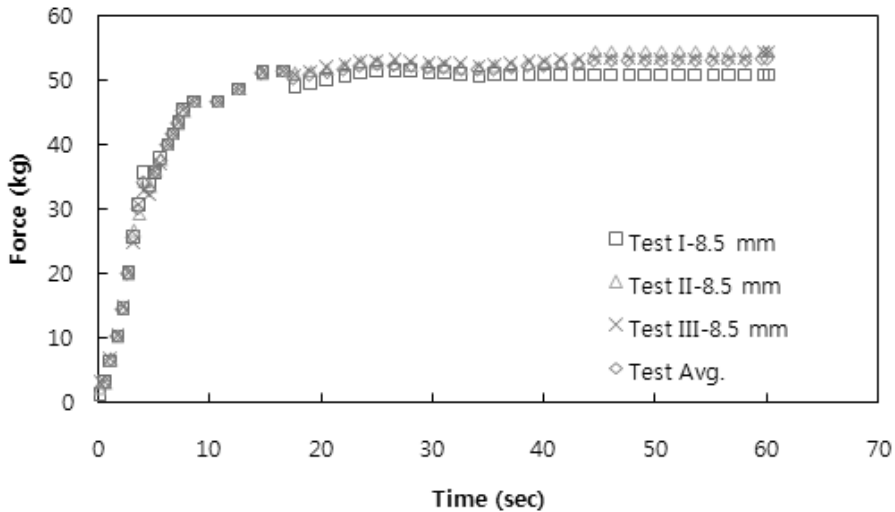


그림 8. 장비의 측정값과 평균



## 5. 결 론

본 연구를 통하여 줄눈재의 성능을 마찰력의 크기로 정량화할 수 있는 장비를 개발하였으며, 예비실험을 거쳐 그 가능성을 검증하였다. 이는 수직방향 및 수평방향으로 하중 및 변위 제어가 가능하며, 줄눈재와 슬래브에 작용하는 수직방향 및 수평방향 하중 및 변위를 측정하고 제어할 수 있다. 예비실험을 통하여 동일한 폭의 줄눈재를 사용하였을 경우, 줄눈폭이 마찰력에 지배적인 영향을 미치며 줄눈 폭이 좁을 경우 줄눈 폭이 넓은 경우보다 큰 마찰력이 발생하는 것을 확인하였고, 속도를 다르게 진행한 실험결과에서, 줄눈재의 거동을 탄성적으로 해석할 수 있다는 것을 확인하였다. 향후 줄눈재의 형상, 재료의 종류, 줄눈폭, 줄눈의 형상 등 다양한 실험을 통하여 줄눈재의 거동 특성 및 줄눈재의 탄성 범위 등을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

1. 한국도로공사 도로교통연구원, (2007), “콘크리트 포장 줄눈재 보수 체계 개선용역.”, 최종보고서
2. American Concrete Institute (2008), “Guide to sealing Joints in concrete structures”, ACI Manual of concrete pavement Part 6 ACI 504R-90, American Concrete Institute
3. Fa. Hwa. Cheng (1997), Statics and strength of materials, McGraw-Hill Book Co. Singapore
4. Federal Highway Administration (1999), “Materials and Procedures for repair of joint seals in portland cement concrete pavements”, FHWA Report, No. RD-99-146, Federal Highway Administration, U.S. Department of transportation
5. James W. Wesevich, B. Frank McCullough, Ned H. Burns. (1987) “Stabilized Subbase Friction Study For concrete pavement.” Research Report 459-1, CTR 3-8-86-459-1, Center for transportation research, The University of Texas at Austin
6. Seung Woo Lee, (2000), Characteristics of Friction between concrete and base, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 4, Korean Society of Civil Engineers, pp.265-275.
7. Suh, Young C., Lee, Seung W., Kang, Min S. (2002) “Evaluation of Subbase Friction for Typical Concrete Pavement”, Transportation Research Record No. 1809, Transportation Research Board, pp.66-78.